

VEGETACIÓN URBANA

VEGETACIÓN URBANA COMO ESTRATEGIA PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN ÁREAS URBANAS

URBAN VEGETATION AS A STRATEGY TO REDUCE AIR POLLUTION IN URBAN AREAS

Paola Andrea Pava Meza
Ingeniera Forestal / Universidad del Tolima
Bogotá, Colombia.
paolapavam@gmail.com

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica
de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAYO DE 2020

VEGETACIÓN URBANA

VEGETACIÓN URBANA COMO ESTRATEGIA PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN ÁREAS URBANAS

URBAN VEGETATION AS A STRATEGY TO REDUCE AIR POLLUTION IN URBAN AREAS

Paola Andrea Pava Meza
Ingeniera Forestal / Universidad del Tolima
Bogotá, Colombia.
2701004@unimilitar.edu.co

RESUMEN

La vegetación urbana ha sido considerada en los últimos años como alternativa para mitigar la contaminación del aire en las áreas urbanas. Este artículo utilizó una revisión sistémica para abordar las diferentes alternativas que permitieran evaluar la evidencia disponible sobre si las intervenciones ecológicas urbanas, como la plantación de árboles, parques, techos verdes, jardines verticales y jardines comunitarios urbanos influyen de manera eficiente sobre la calidad del aire en áreas urbanas. La mayoría de estudios investigados respaldan ampliamente la hipótesis de que las intervenciones ecológicas puede inducir a cambios el medio ambiente, al menos a escala local. Los artículos revisados aportan una mayor atención a los efectos en la creación de parques y los árboles aislados, mientras que los efectos de los techos verdes y jardines verticales han sido menos estudiados, sin embargo estos han cobrado bastante interés en los últimos años debido a la disponibilidad de área. No obstante, los jardines comunitarios urbanos aunque se reconocen como sistemas socioecológicos dinámicos que aportan servicios ecosistémicos, la literatura ha restringido su efecto hacia los beneficios que aportan en la calidad del aire. Si bien, la mayoría de casos aporta efectos positivos del efecto de la vegetación urbana sobre la calidad del aire, esta es respaldada por los efectos que ejercen las plantas al almacenar carbono. Por lo tanto, la evidencia actual no permite hacer recomendaciones específicas sobre la mejor manera de incorporar los diferentes tipos de intervenciones ecológicas urbanas para mejorar la calidad del aire en áreas urbanas.

Palabras clave: vegetación urbana; calidad del aire; techos verdes; jardines verticales; parques urbanos, jardines comunitarios urbanos.

ABSTRACT

Urban vegetation in recent years has been considered as an alternative to mitigate air pollution in urban areas. This article used a systemic review to address the different alternatives that would allow evaluating the available evidence on whether urban ecological interventions such as tree

VEGETACIÓN URBANA

planting, parks, green roofs, vertical gardens and urban community gardens efficiently influence air quality in urban areas. Most researched studies broadly support the hypothesis that ecological interventions can induce changes in the environment, at least locally. The reviewed articles bring greater attention to the effects on the creation of parks and isolated trees, while the effects of green roofs and vertical gardens have been less studied, however these have gained considerable interest in recent years due to the area availability. However, urban community gardens are recognized as dynamic socio-ecological systems that provide ecosystem services, the literature has restricted their effect to the benefits they bring to air quality. Although the literature in most cases provides positive effects of the effect of urban vegetation on air quality, it is supported by the effects that plants have when storing carbon. Therefore the current evidence does not allow making specific recommendations on the best way to incorporate the different types of urban ecological interventions to improve air quality in urban areas.

Keywords: urban vegetation; air quality; green roofs; vertical gardens; urban parks, urban community gardens.

VEGETACIÓN URBANA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los sectores más asociados a nuestro modelo de desarrollo es sin duda el sector de la construcción, debido a la dinámica de urbanización generada por las altas tasas de crecimiento las cuales están positivamente relacionadas con medidas de estabilidad política e inversamente relacionadas con un proxy de distorsiones del mercado (Barro, 1991). En Colombia, la población urbana representa el 76% y se estima que para el año 2050 aumentara al 86% de la población total (DNP, 2014).

La rápida urbanización e industrialización suelen ir acompañadas de un mayor riesgo de exposición a la contaminación del aire (Chen et al., 2018), convirtiéndose en un problema extremadamente grave para el mundo industrializado moderno (Gupta, 2016). Los espacios urbanos están cada vez más expuestos a la contaminación del aire, lo que influye de manera crítica en la salud y el bienestar de los habitantes de las ciudades (Silva, Fonseca, Pires, & Mendes, 2019).

En el 2016, el 91% de la población mundial estaba expuesta a lugares en donde no se cumplían los límites máximos de concentración de contaminantes del aire definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018). Tanto así, que en muchas ciudades colombianas hay altos niveles de contaminación que deterioran la salud pública y la calidad de vida de sus ciudadanos (IDEAM, 2016). Por tanto, esta problemática ha cobrado importancia en la investigación ambiental y salud pública, en el cual las autoridades ambientales siguen creando estrategias para reducir la contaminación del aire y mejorar la salud de los habitantes de la ciudad (Cortina et al., 2015).

Varios estudios han confirmado que los contaminantes del aire, en especial el material particulado de diámetro menor a 2.5 micras (PM2.5), tienen un efecto significativo sobre la salud

VEGETACIÓN URBANA

de los habitantes de las grandes ciudades (Londoño & Cañón, 2018). No obstante, las concentraciones de material particulado inferior a $2.5\ \mu\text{m}$, no pueden disminuirse controlando únicamente las fuentes de contaminación, por ende la vegetación urbana podría ser una forma rentable y efectiva a largo plazo (Wu, Wang, Qiu, & Peng, 2019).

Aunque la vegetación urbana tiene el potencial de reducir los niveles de contaminación al acumular contaminantes del aire, esta puede resultar siendo un estresante antropogénico para las plantas, es así como los mecanismos involucrados en la tolerancia y la sensibilidad de las diferentes especies también varía según el tipo de contaminante. De esta manera, plantas que crecen en lugares contaminados pueden analizarse para evaluar los efectos generales de una mezcla de contaminantes (Fusaro et al., 2019).

Es importante garantizar que la vegetación en las zonas urbanas proporcione servicios ecosistémicos que ayuden a aliviar algunos de los impactos de la urbanización (Nowak et al, 2013), generando estrategias que promuevan resultados de manera eficiente mediante el uso de áreas urbanas. Por ende, este trabajo tiene por objetivo evaluar la evidencia disponible sobre si las intervenciones ecológicas, como el arbolado urbano, la creación de parques, techos verdes, jardines verticales y jardines comunitarios influyen de manera eficiente sobre la calidad del aire en áreas urbanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realiza con base en una revisión sistémica, combinando la información de diversos estudios, lo cual permite analizar la consistencia de los resultados (Manterola et.al, 2013). La metodología aplica criterios predefinidos para identificar artículos relevantes en bases de datos de revistas indexadas, estos artículos son sometidos a una evaluación crítica y se

VEGETACIÓN URBANA

resumen los hallazgos encontrados para que su análisis pueda ser coherente a esta investigación. Permitiendo integrar diferentes respuestas a una misma pregunta de investigación, aumentando el tamaño de la muestra e incrementando el poder estadístico (Dickersin & Berlin, 1992), así como garantizar que las conclusiones de la revisión sean lo más imparciales posibles y se basen en la mejor evidencia disponible (Bowler et al., 2010).

El proceso de búsqueda de información inicia utilizando bases de datos de diferentes disciplinas, motores de búsqueda en Internet y sitios web de diferentes organizaciones como Sciente direct, Springer Link , Proquest y scielo Colombia. Simultáneamente, se utilizan combinaciones de palabras clave relevantes (como 'vegetación', 'urbano', 'Contaminación' 'aire') y operadores booleanos de búsqueda (AND, OR, NOT), permitiendo reducir y especificar la búsqueda, excluir términos no deseados y recuperar registros que tuvieran al menos una de las palabras mencionadas en español e inglés.

Una vez realizada la búsqueda de información, los artículos relevantes se someten a una evaluación crítica de la calidad metodológica y se resumen sus hallazgos, que pueden incluir una síntesis cuantitativa cuando sea apropiado (Bowler et al., 2010). De cada artículo, se extrae información correspondiente a los métodos de investigación, tiempos y la ubicación de la recopilación de datos, el tipo de zona verde y la información sobre sus hallazgos con respecto a los posibles efectos sobre la calidad del aire.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta búsqueda identificó 60 artículos donde se mencionan estudios que indagan diferentes tipos de áreas verdes como: árboles aislados, bosques, parques, jardines verticales , techos verdes y jardines comunitarias urbanos, los cuales presentan efectos sobre la calidad del

VEGETACIÓN URBANA

aire en áreas urbanas. Cabe resaltar, que solo 25 de estos artículos hacen parte de nuestro análisis y postulado de investigación, en la Tabla 1 se presenta el número de estudios que se indagaron sobre cada intervención ecológica.

Tabla 1.

Detalles sobre la cantidad de estudios analizados que investigan diferentes tipos de sitios verdes: jardines, árboles y parques, jardines verticales y techos verdes.

Tipo de sitio verde	N° de Estudios
Jardines y zonas verdes.	4
Árboles y Parques	15
Jardines verticales y techos verdes	6

Esta revisión permitió evaluar la evidencia sobre la efectividad de la vegetación urbana como estrategia para reducir la contaminación del aire urbano. La mayoría de estudios investigados respaldan ampliamente la hipótesis de que las intervenciones ecológicas puede inducir a cambios el medio ambiente, al menos a escala local (Bowler et al., 2010). Sin embargo, la mayoría de estos estudios utilizó revisiones de literatura, en lugar de utilizar diseños de estudio más rigurosos, como experimentos, en ausencia de manipulación experimental, es importante considerar el impacto de cualquier variable de confusión potencial que pueda sesgar la estimación del efecto de la vegetación urbana sobre la calidad del aire.

VEGETACIÓN URBANA

Los artículos revisados aportan una mayor atención a los efectos en los parques y los árboles, mientras que los efectos de los techos verdes y la vegetación del suelo han sido menos estudiados (Bowler et al., 2010). Sin embargo en los últimos años los techos verdes y jardines verticales han cobrado bastante interés debido a la disponibilidad de área en los centros poblados, no obstante es necesario examinar si los techos verdes son la tecnología más sostenible y rentable para mitigar la contaminación urbana en cada escenario.

Árboles y Parques urbanos.

Habitualmente los parques y arboles urbanos han sido considerados como pulmones de la ciudad (Xing & Brimblecombe, 2019), debido a la importancia que prestan mediante la mejora de calidad del aire, absorción de contaminantes gaseosos, la prestación de servicios sociales y ecosistémicos (Fantozzi et al., 2013). Esta parábola ha ganado apoyo con estudios que revelan la deposición de contaminantes en las superficies es las hojas, reconociendo como servicios ecosistémicos la purificación del aire (Przybysz et al., 2020).

Sin embargo, estudios relacionados con las respuestas de contaminación del aire basadas en diferentes características funcionales de las hojas y las características de los árboles son limitados (Mukherjee & Agrawal, 2018).

Mukherjee & Agrawal (2018) manifiestan que las respuestas y la tolerancia de diferentes especies de árboles contra los contaminantes del aire están influenciados por la combinación de las características de los árboles y las variaciones en los rasgos funcionales de las hojas como la naturaleza del árbol, forma de la hoja, textura de la hoja, altura del árbol, tamaño y forma de la copa, en respuesta a los contaminantes del aire (Figura 1).

VEGETACIÓN URBANA

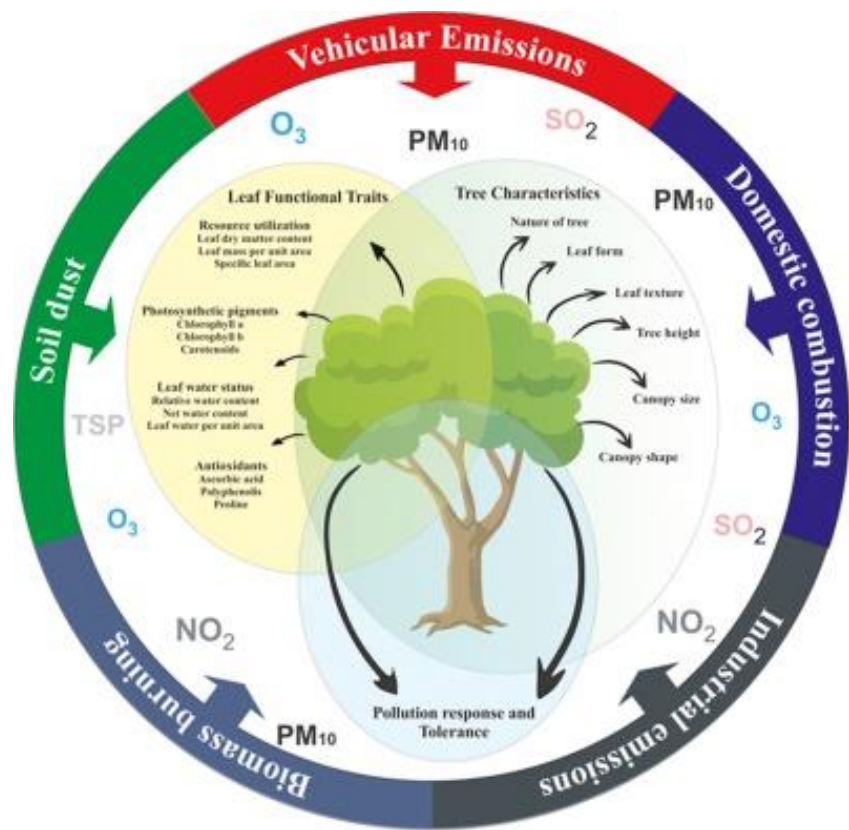


Figura 1. Respuesta del árbol y la tolerancia a los contaminantes atmosféricos regidos por las características del árbol. Fuente: (Mukherjee & Agrawal, 2018).

En la Tabla 2, se observa un análisis de los resultados obtenidos en los estudios realizados por Mukherjee & Agrawal (2018) sobre la respuestas de diferentes características de los árboles a la contaminación del aire.

Tabla 2.

Respuestas de diferentes características de los árboles a la contaminación del aire.

VEGETACIÓN URBANA

Características del árbol	Tolerancia a contaminantes atmosféricos	Comparativo	Respuestas
Naturaleza del árbol	Árboles de hoja caduca	Árboles semi-decíduos y de hoja perenne	Variaciones en la tolerancia a los contaminantes del aire dependen de la naturaleza del árbol, sin embargo, el impacto de los contaminantes del aire fue mayormente similar en todos los grupos.
Forma de la hoja	Árboles con hojas compuestas	Árboles con hojas simples	Mayor exposición a los contaminantes del aire de los árboles de hoja perenne con hojas simples.
Textura de la hoja	Las plantas con hojas de textura lisa y rugosa	Las plantas con hojas lisas	Mayor deposición de contaminantes del aire específicamente PM en las hojas con textura rugosa que conducen a mayores variaciones en los rasgos de la hoja.
Altura del árbol	Los árboles con altura pequeña a mediana (<15 m)	Árboles altos (> 15 m)	Variaciones explicadas por los contaminantes del aire en los rasgos funcionales de las hojas fueron más en los árboles más altos, lo que podría deberse a una mayor absorción de los contaminantes del aire,
Tamaño del dosel	Árboles con un tamaño de copa medio a pequeño	Árboles con un tamaño de copa más grande	Debido a una gran superficie para la absorción y deposición de contaminantes.
Forma de dosel	Árboles copa redonda / ovalada	Árboles con copas redondas / ovaladas, de propagación y otros tipos de copas que	Los contaminantes del aire pueden tener un mayor acceso a las hojas, lo que induce respuestas más altas en

VEGETACIÓN URBANA

incluían sombrilla, piramidal y erección	comparación con el dosel de forma redonda / ovalada que tiene un follaje denso con ramas ocultas.
---	--

Fuente: modificado de Mukherjee & Agrawal (2018).

No obstante, estudios realizados por Xing & Brimblecombe (2019), Cuestionan la importancia de la deposición en el follaje para reducir las concentraciones de contaminantes del aire en las ciudades y el servicio que brinda, si bien los contaminantes se depositan en la vegetación, el cambio en la turbulencia y la velocidad del viento, son inducidos por el aumento de la fricción limitando a menudo la dispersión, dando como resultado que las concentraciones de contaminantes pueden ser más altas de lo esperado.

Sin embargo, varios autores han confirmado la capacidad de muchos árboles y arbustos para reducir los contaminante del aire, aunque estos se refieren a la vegetación organizada, que requieren variedad en las condiciones de crecimiento y mantenimiento, como árboles y arbustos en parques o carreteras (Przybysz et al., 2020). La gran cantidad de especies arbóreas y condiciones de crecimiento heterogéneas dan como resultado una estructura de dosel diversa, esto dado bajo las condiciones de manejo, las cuales son generalmente con operaciones a pequeña escala o incluso a nivel de árboles, lo cual hace indispensable de información forestal detallada (Tanhuanpää et al., 2019).

Estudios de caso sobre indicadores de la estructura del paisaje y la morfología de los árboles asociados con el diseño de plantación, demuestran que estos podrían alterar la dispersión de contaminantes en los parques urbanos, las diferencias en la densidad del follaje y la distribución foliar vertical entre las especies arbóreas muestran resultados en los diferentes modos de dispersión de contaminantes (Xing, Brimblecombe, Wang, & Zhang, 2019).

VEGETACIÓN URBANA

Cabe resaltar, que la contaminación del aire (PM 10 y Al, Ba, Zn) tiene una influencia en la variabilidad del crecimiento de los árboles, las altas concentraciones de contaminación del aire que se encuentran en las ciudades puede considerarse como una limitante para el crecimiento de los árboles y pueden obstaculizar los servicios del ecosistémicos que estos podrían proporcionar cuando se usan como herramientas de mitigación o adaptación al cambio ambiental (Locosselli et al., 2019).

De esta manera, se ha aumentado el interés de aplicar información a nivel de árboles, para definir los servicios ecosistemicos. La cuantificación y el mapeo de los servicios ecosistemicos proporcionados por los árboles urbanos son necesarios para ayudar a justificar los costos del manejo de los árboles (silvicultura urbana), así como a evaluar los beneficios relacionados a escala regional (Tanhuanpää et al., 2019).

Jardines verticales y techos verdes

Actualmente la literatura propone jardines verticales (Fotografía 1) para aumentar las áreas verdes, como una estrategia prometedora para el desarrollo urbano sostenible con diversos beneficios para la calidad de vida urbana y el bienestar general, ya que estos tienen un mayor efecto restaurador y menores niveles de estrés, así como un mejoramiento en la calidad de vida a través de su efecto restaurador (Lotfi, Refaat, El Attar, & Abdel Salam, 2020).

VEGETACIÓN URBANA



Fotografía 1. Jardines verticales artificiales (edificio administrativo Groupe Rocher en París, Francia). Fuente: (Lotfi, Refaat, El Attar, & Abdel Salam, 2020).

Igualmente los techos verdes se han convertido en estrategias que reemplazan parcialmente la vegetación que fue destruida cuando se construyó el edificio. Debido a que proporcionan muchos beneficios que pueden ayudar a compensar los aspectos negativos de la contaminación, especialmente en el entorno urbano (Rowe, 2011).

Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008) sugieren que los jardines verticales podrían ayudar significativamente a mejorar la calidad del aire principalmente a través de la reducción de las concentraciones de CO₂, NO₂ y SO₂ y la absorción de partículas de polvo fino. Asimismo, Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010) indican que la cobertura de fachadas de edificios con vegetación puede atenuar los niveles de contaminación acústica urbana.

Los techos verdes pueden jugar papel importante en la reducción de CO₂ en la atmósfera, esencialmente debido a que el carbono se secuestra naturalmente en los tejidos de las plantas a través de la fotosíntesis y en el sustrato del suelo a través de la hojarasca y los exudados

VEGETACIÓN URBANA

de las raíces (Rowe, 2011). También mejora la eficiencia energética a través del aislamiento edificios individuales, mitigando la isla de calor urbana (Lotfi, Refaat, El Attar, & Abdel Salam, 2020).

Gourdji (2018) manifiesta que algunas de las plantas utilizadas en el diseño de techos verdes son más efectivas para mejorar la calidad del aire, en este caso el autor plantea que las cofineras de tamaño pequeño del género *Pinus* pueden ayudar a abordar la contaminación por partículas debido a sus intrincadas estructuras de agujas, así mismo especies como el *Acer palmatum* las cuales presentan hojas anchas caducifolias y tolerantes a la sequía que ayudarían en la mitigación del O_3 y Las magnolias sería una buena opción para mitigar NO_2 e indirectamente O_3 .

Por lo tanto, el uso práctico de techos y jardines para el desarrollo vertical de espacios verdes puede considerarse como un sustituto potencial de la utilización eficiente del suelo urbano para reducir los problemas ambientales y ecológicos urbanos (Moghbel & Erfanian Salim, 2017). Así como el efecto de la naturaleza, el cual puede contribuir positivamente a la salud general y al estado emocional, mostrando resultados positivos en los niveles de estrés, afectando el estado restaurador del usuario Lotfi, Refaat, El Attar, & Abdel Salam (2020).

Jardines urbanos.

Los jardines comunitarios urbanos son espacios verdes que proporcionan sistemas socioecológicos dinámicos, los cuales proporcionan espacios donde los ciudadanos urbanos interactúan deliberadamente con la naturaleza y reciben múltiples beneficios (Lin & Egerer, 2020). Estos exhiben altos niveles de diversidad de plantas a través de la combinación de la biodiversidad planificada, es decir, plantas ornamentales, plantas silvestres que crecen en

VEGETACIÓN URBANA

senderos de jardines, pero también incorporan diversidad estructural y floral que proporciona un rango de funciones y recursos para apoyar las poblaciones asociadas al entono construido (Lin et al., 2015).

En la Figura 2, se observa la gestión de los jardines urbanos los cuales pueden conducir a diferentes configuraciones de la biodiversidad y tanto a los beneficios de los diferentes servicios que aportan (servicios de provisión, de regulación y soporte).

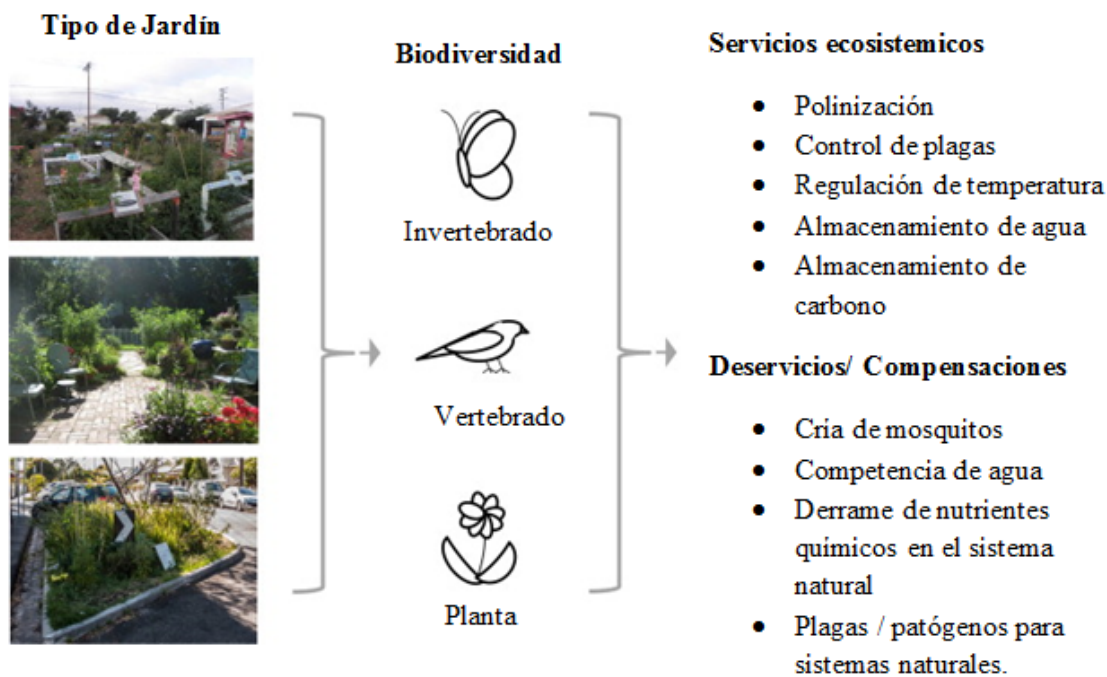


Figura 2. Servicios ecosistémicos y compensaciones que aportan los jardines urbanos. Fuente: (Lin et al., 2015).

Según Koriesh& Abo-Soud (2020) las plantas en los jardines cumplen una función importante para mantener la calidad ambiental y mitigar el cambio climático. Los jardineros generan herramientas que pueden ayudar a disminuir los contaminantes del calentamiento global asociados con la eliminación de desechos al convertir las hojas, el césped, los trozos leñosos y

VEGETACIÓN URBANA

los desechos de jardín muertos en mantillo o compost, y luego usarlo en el jardín, la importancia de reciclar estos desechos no solo reduce las emisiones de metano de los vertederos también mejoran el suelo del jardín y lo ayudan a almacenar carbono.

Cabe resaltar que la complejidad ecológica de los jardines está fuertemente influenciada por las regulaciones y las decisiones de manejo las cuales están controladas en cierta medida por los jardineros, por ende es necesario impulsar procesos de gestión de los jardines comunitarios urbanos para diseñar sistemas de apoyo a las políticas que fomenten el uso continuo y los beneficios derivados de tales espacios verdes beneficios (Lin & Egerer, 2020).

En cuestión la literatura es muy restringida acerca de los efectos de los jardines y zonas verdes urbanas y su influencia en la calidad del aire, sin embargo muchos autores promueven beneficios de manera consistente a través de los servicios ecosistémicos que estos prestan.

CONCLUSIONES

La base de evidencia actual no permite hacer recomendaciones específicas sobre la mejor manera de incorporar las intervenciones ecológicas en un área urbana. Sin embargo, es necesario abordar investigaciones de tipo experimental que permitan guiar de manera eficientemente el diseño y la planificación del espacio verde urbano, donde se tengan presentes variables como distribución, abundancia y tipo de vegetación.

Del mismo modo se genera una incertidumbre entre las estrategias para reducir la contaminación del aire a través de la vegetación urbana, por ende es necesario realizar una planificación correcta acerca del tipo de intervención ecológica, indagando acerca del análisis de costo-beneficio, donde se determinen los impactos económicos de los contaminantes

VEGETACIÓN URBANA

atmosféricos, así como cuantificar beneficios sociales, ambientales y los costos asociados a la gestión y manejo de estos espacios verdes.

Finalmente es importante resaltar la importancia de la silvicultura urbana como herramienta indispensable en la planificación de las zonas verdes urbanas, la cual permite mejorar la eficiencia de las zonas verdes, orientando a la gestión y manejo de los recursos de manera equilibrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., y Granberg, M. (2015). *Un método integrado para evaluar los riesgos relacionados con el clima y las alternativas de adaptación en las zonas urbanas*. Gestión del riesgo climático, 7, 31-50.
- Barro, R. J. (1991). *Economic growth in a cross section of countries*. *The quarterly journal of economics*, 106(2), 407-443.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). *Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence*. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.
- Bharti, S. K., Trivedi, A., & Kumar, N. (2018). *Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site*. *Urban climate*, 24, 820-829.

VEGETACIÓN URBANA

- Casallas, A., Celis, N., Ferro, C. y col (2020). Validación de la alerta temprana PM 10 y PM 2.5 en Bogotá, Colombia, a través del software de modelado WRF-CHEM. Environ Sci Pollut Res (2020). <https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1007/s11356-019-06997-9>.
- Cortina-Januchs, M. G., Quintanilla-Dominguez, J., Vega-Corona, A., & Andina, D. (2015). Development of a model for forecasting of PM10 concentrations in Salamanca, Mexico. Atmospheric Pollution Research, 6(4), 626-634.
- Chen, C., Liu, C., Chen, R., Wang, W., Li, W., Kan, H., & Fu, C. (2018). Ambient air pollution and daily hospital admissions for mental disorders in shanghai, china 613-614 324-330 doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.098>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2014). Conpes 3819: Política nacional para consolidar el sistema de ciudades en Colombia. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/economicos/3819.pdf>
- Gourdji, S. (2018). Review of plants to mitigate particulate matter, ozone as well as nitrogen dioxide air pollutants and applicable recommendations for green roofs in montreal, Quebec. 241 378-387 doi: <https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.envpol.2018.05.053>
- Gupta A. (2016). Efecto de los contaminantes del aire en el proceso de intercambio gaseoso de las plantas: efecto sobre los estomas y la respiración. En: Kulshrestha U., Saxena P. (eds) Respuestas de la planta a la contaminación del aire. Springer, Singapur
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2016). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2011-2015*. Bogotá. Recuperado

VEGETACIÓN URBANA

de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023637/informe_del_estado_de_la_calidad_del_aire_en_colombia_2011-2015_vfinal.pdf

Joshi, P. C., & Swami, A. (2007). Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India. *The Environmentalist*, 27(3), 365-374.

Kay Dickersin, Jesse A. Berlin, Metaanálisis: Estado de la ciencia, Revisiones epidemiológicas , Volumen 14, Número 1, 1992, Páginas 154–176, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.epirev.a036084>.

Koriesh EM, Abo-Soud IH (2020). Frente al cambio climático: jardinería urbana y agricultura sostenible. En: Ewis Omran ES., Negm A. (eds) Impactos del cambio climático en la agricultura y la seguridad alimentaria en Egipto. Springer Water. Springer, Cham.

Locosselli, G. M., Camargo, E. P. d., Moreira, T. C. L., Todesco, E., Andrade, M. d. F., André, Carmen Diva Saldiva de, Buckeridge, M. S. (2019). *The role of air pollution and climate on the growth of urban trees* 666 652-661 doi: <https://doiorg.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.scitotenv.2019.02.291>

Londoño-Ciro, L.A.; Cañón-Barriga, J.E. (2018). Metodología para la caracterización espacio-temporal de PM_{2.5} en el área urbana de la ciudad de Medellín-Colombia. *Revista EIA*, 15(30), julio-diciembre, pp. 113-132. [Online]. Disponible en: <https://doi.org/10.24050/reia.v15i30.1217>

VEGETACIÓN URBANA

Lotfi, Y. A., Refaat, M., El Attar, M., & Abdel Salam, A. (2020). *Vertical gardens as a restorative tool in urban spaces of new cairo*. doi :

<https://doiorg.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.asej.2019.12.004>

Moghbel, M., & Erfanian Salim, R. (2017). Environmental benefits of green roofs on microclimate of tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO2 content 20 46-58 doi:<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.uclim.2017.02.012>

Molnár, V. É., Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., & Szabó, S. (2020). Air pollution induced vegetation stress – the air pollution tolerance index as a quick tool for city health evaluation 113 106234 doi:

<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.ecolind.2020.106234>

Mukherjee, A., & Agrawal, M. (2018). *Use of GLM approach to assess the responses of tropical trees to urban air pollution in relation to leaf functional traits and tree characteristics* 152 42-54 doi:

<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.ecoenv.2018.01.038>

Nouchi I. (2002). *Plantas como bioindicadores de contaminantes del aire*. En: Omasa K., Saji H., Youssefian S., Kondo N. (eds) *Contaminación del aire y biotecnología vegetal*. Springer, Tokio

Przybysz, A., Wińska-Krysiak, M., Małecka-Przybysz, M., Stankiewicz-Kosyl, M., Skwara, M., Kłos, A., Sikorski, P. (2020). *Urban wastelands: On the frontline between air pollution sources and residential areas* 721 137695 doi:

<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.scitotenv.2020.137695>

VEGETACIÓN URBANA

Rai R, Rajput M, Agrawal M, Agrawal SB (2011). *Contaminantes gaseosos del aire: una revisión sobre las tendencias actuales y futuras de emisiones y el impacto en la agricultura*. J Sci Res 55: 77–102

Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement 159 8 2100-2110 doi:
<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.envpol.2010.10.029>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Ambient (Outdoor) Air Quality and Health*.
Recuperado de [http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Silva, L. T., Fonseca, F., Pires, M., & Mendes, B. (2019). SAUS: A tool for preserving urban green areas from air pollution 46 126440 doi:
<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.ufug.2019.126440>

Tanhuanpää, T., Yu, X., Luoma, V., Saarinen, N., Raisio, J., Hyypä, J., Holopainen, M. (2019). *Effect of canopy structure on the performance of tree mapping methods in urban parks* 44 126441 doi:
<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.ufug.2019.126441>

Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). *Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls*. Building and Environment, 45(2), 411-420.

Xing, Y., Brimblecombe, P., Wang, S., & Zhang, H. (2019). *Tree distribution, morphology and modelled air pollution in urban parks of hong kong* 248 109304 doi:
<https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.jenvman.2019.109304>

VEGETACIÓN URBANA

Xing, Y., & Brimblecombe, P. (2019). *Role of vegetation in deposition and dispersion of air pollution in urban parks* 201 73-83 doi:

<https://doiorg.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.atmosenv.2018.12.027>

Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). *Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago*. Atmospheric environment, 42(31), 7266-7273.

Yuan, C., Norford, L., & Ng, E. (2017). *A semi-empirical model for the effect of trees on the urban wind environment*. Landscape and Urban Planning, 168, 84-93.